

## Beschreibung

## Optische Empfängerschaltung

5 Technisches Gebiet:

Die Erfindung bezieht sich auf eine optische  
Empfängerschaltung mit einer optischen Empfangseinrichtung  
und einer nachgeschalteten Verstärkereinrichtung. Auf die  
Empfangseinrichtung (z. B. Fotodiode) einfallendes Licht -  
10 beispielsweise Licht aus einem optischen Lichtwellenleiter  
eines optischen Datenübertragungssystems - wird von der  
Empfangseinrichtung unter Bildung eines elektrischen Signals  
(z. B. Fotostrom) detektiert; anschließend wird das  
elektrische Signal von der nachgeschalteten  
15 Verstärkereinrichtung verstärkt.

Optische Empfängerschaltungen dieser Art benötigen eine sehr  
hohe Empfindlichkeit, da die zu empfangenden optischen  
Lichtsignale und damit die von der Empfangseinrichtung  
20 gebildeten elektrischen Signale in der Regel sehr klein sind.  
Aus diesem Grunde ist auch die Störempfindlichkeit sehr hoch.  
Dies bedeutet, dass hochfrequente Störungen - beispielsweise  
auf der Versorgungsspannung der optischen Empfängerschaltung  
und/oder eingestrahlte elektromagnetische Störungen (EMI:  
25 Electromagnetic Interference) - die Funktionsfähigkeit der  
optischen Empfängerschaltung in erheblicher Weise  
beeinträchtigen können.

Um Störungen von Außen zu vermeiden, wird bei den  
30 vorbekannten optischen Empfängerschaltungen ein erheblicher  
Aufwand an elektromagnetischer Schirmung betrieben.  
Insbesondere werden erhebliche Anstrengungen unternommen,  
hochfrequente Störungen, beispielsweise auf der  
Versorgungsspannung, zu unterdrücken.

35

Es ist offensichtlich, dass diese Schirmungsmaßnahmen zu  
erheblichen Zusatzkosten bei der Herstellung der vorbekannten

Empfängerschaltungen führen.

Eine vorbekannte optische Empfängerschaltung mit einer Empfangseinrichtung und einem nachgeschalteten Verstärker ist beispielsweise in dem Artikel „High Gain Transimpedance Amplifier in InP-Based HBT Technology for the Receiver in 40 Gb/s Optical-Fiber TDM Links“ (Jens Müllrich, Herbert Thurner, Ernst Müllner, Joseph F. Jensen, Senior Member, IEEE, William E. Stanchina, Member, IEEE, M. Kardos, and Hans-Martin Rein, Senior Member, IEEE - IEEE Journal of Solid State Circuits, vol. 35, No. 9, September 2000, Seiten 1260 bis 1265) beschrieben. Bei dieser Empfängerschaltung ist eingangsseitig ein differenziell betriebener Transimpedanzverstärker - also ein Differenzverstärker - vorhanden, der mit einem Eingang an eine Fotodiode als Empfangseinrichtung angeschlossen ist. Der andere Eingang des differenziell betriebenen Transimpedanzverstärkers ist mit einem Gleichstromverstärker verbunden, der einen „Korrekturstrom“ zur Offset-Korrektur des Fotostromes der Fotodiode in den Differenzverstärker einspeist. Die Größe dieses eingespeisten „Korrekturstromes“ beträgt die Hälfte des Stromhubs der Fotodiode im Betrieb.

#### Zusammenfassung der Erfindung:

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine optische Empfängerschaltung anzugeben, die gegenüber externen Störsignalen störunempfindlich ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine optische Empfängerschaltung mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in Unteransprüchen angegeben.

Danach ist erfindungsgemäß eine optische Empfängerschaltung mit einer optischen Empfangseinrichtung und einem nachgeschalteten Differenzverstärker vorgesehen. Die Empfangseinrichtung ist dabei an einen der zwei Eingänge des

- Differenzverstärkers angeschlossen. An den anderen der beide Eingänge des Differenzverstärkers ist ein das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung im „beleuchtungsfreien Fall“ nachbildendes elektrisches Element angeschlossen. Unter einem „beleuchtungsfreien Fall“ wird dabei verstanden, dass sich das elektrische Element elektrisch weitestgehend genauso verhält wie die Empfangseinrichtung, wenn kein zu detektierendes Licht auf die Empfangseinrichtung auftrifft.
- 10 Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen optischen Empfängerschaltung ist darin zu sehen, dass diese besonders störungsempfindlich ist. Dies wird bei der erfindungsgemäßen Empfängerschaltung durch das „volldifferenzielle“ Design der Schaltung bzw. die quasi symmetrische eingangsseitige
- 15 Beschaltung des Differenzverstärkers erreicht. Das volldifferenzielle Design beruht dabei auf dem erfindungsgemäßen elektrischen Element, das das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung im beleuchtungsfreien Fall nachbildet. Aufgrund des elektrischen Elements ist der
- 20 Differenzverstärker symmetrisch beschaltet, so dass hochfrequente Störungen effektiv unterdrückt werden. Hochfrequente Störungen werden nämlich aufgrund der symmetrischen eingangsseitigen Beschaltung des Differenzverstärkers an beiden Eingängen des
- 25 Differenzverstärkers gleichzeitig auftreten, so dass die Störungen dank der bei Differenzverstärkern stets hohen Gleichtaktunterdrückung weitestgehend unterdrückt werden.

- Die erfindungsgemäße optische Empfängerschaltung unterscheidet sich damit wesentlich von den eingangs erwähnten bekannten Empfängerschaltungen, die zwar eingangsseitig einen Differenzverstärker aufweisen, jedoch eingangsseitig asymmetrisch beschaltet sind. Potentielle Störelemente, wie beispielsweise ein Bonddraht der
- 30 Empfangseinrichtung, die Kapazität der Empfangseinrichtung sowie weitere kapazitive Aufbauelemente - beispielsweise Kapazitäten und Induktivitäten im Bereich der
- 35

Empfangseinrichtung - treten beim Stand der Technik damit ausschließlich an einem Anschluss des Differenzverstärkers auf und werden somit unmittelbar verstärkt. Die Störsignale gelangen bei der vorbekannten „asymmetrischen“ Beschaltung des Differenzverstärkers somit zu der „empfindlichsten Stelle“ der optischen Empfängerschaltung und werden unmittelbar verstärkt. Im Unterschied dazu werden bei der erfindungsgemäßen Empfängerschaltung die Störsignale „quasi“ herausgefiltert bzw. wirkungsvoll unterdrückt, und zwar aufgrund der symmetrischen Beschaltung des Differenzverstärkers mit Hilfe des das Verhalten der Empfangseinrichtung im unbeleuchteten Fall nachbildenden Elements und aufgrund der Gleichtaktunterdrückung des Differenzverstärkers.

Zusammengefasst lässt sich damit feststellen, dass bei der erfindungsgemäßen optischen Empfängerschaltung ein besonders hohes Maß an Störuneempfindlichkeit durch die symmetrische eingangsseitige Beschaltung des Differenzverstärkers der Empfängerschaltung erreicht wird.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen optischen Empfängerschaltung besteht darin, dass diese kostengünstiger herstellbar als die vorbekannten Empfängerschaltungen, da auf aufwändige Schirmungsmaßnahmen zum Unterdrücken von Störeinflüssen aufgrund der „inneren“ Störunterdrückung durch den Differenzverstärker weitgehend verzichtet werden kann.

Um zu erreichen, dass die optische Empfängerschaltung eine besonders hohe Verstärkung erreicht, ist gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Empfängerschaltung vorgesehen, dass die Empfangseinrichtung und das elektrische Element jeweils mit einem Vorverstärker an den Differenzverstärker angeschlossen werden. Eventuell durch die Vorverstärker hervorgerufene Störungen werden aufgrund der Gleichtaktunterdrückung des Differenzverstärkers - wie die

übrigen Störsignale - unterdrückt und somit wirkungslos. Es wird somit mit den Vorverstärkern eine hohe Verstärkung erreicht, ohne dass Störungen verstärkt werden.

- 5 Vorzugsweise handelt es sich bei den beiden Vorverstärkern um identische Vorverstärker, um eine maximale Störunterdrückung der eventuell von den Vorverstärkern selbst erzeugten oder der in den Vorverstärker eingekoppelten Störsignale zu erreichen.

10

Bei dem das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung im beleuchtungsfreien Fall nachbildenden elektrischen Element kann es sich beispielsweise um eine mit der

Empfangseinrichtung („Nutz“-Empfangseinrichtung) der

- 15 Empfängerschaltung identische Empfangseinrichtung („Dummy“-Empfangseinrichtung“) handeln, die derart abgedunkelt ist, dass kein Licht darauf fallen kann. Die „Nutz“-Empfangseinrichtung und die „Dummy“-Empfangseinrichtung sind vorzugsweise auf einem Halbleiterchip gemeinsam monolithisch  
20 integriert, um sicher zu stellen, dass beide Empfangseinrichtungen ein annähernd gleiches elektrisches Verhalten aufweisen.

Alternativ kann das elektrische Verhalten der Nutz-

- 25 Empfangseinrichtung im beleuchtungsfreien Fall nachbildende elektrische Element auch durch eine Kapazität gebildet sein die das kapazitive Verhalten der Nutz-Empfangseinrichtung nachbildet.

- 30 Als Vorverstärker werden vorzugsweise Transimpedanzverstärker eingesetzt.

Darüber hinaus wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die optische Empfängerschaltung eine integrierte Regelschaltung  
35 aufweist, mit der eine Regelung der Rückkoppelwiderstände der beiden Transimpedanzverstärker möglich ist. Durch Umschalten der Widerstandsgröße der Rückkoppelwiderstände lässt sich d

Verstärkung der Transimpedanzverstärker und damit mittelbar auch die Bandbreite der Empfängerschaltung benutzerseitig vor-  
außen einstellen.

- 5 Um einen möglichst symmetrischen Aufbau der optischen Empfängerschaltung zu gewährleisten, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die integrierte Regelschaltung jeweils an die Rückkoppelwiderstände beider Transimpedanzverstärker angeschlossen ist.

10

Für einen symmetrischen Betrieb der optischen Empfängerschaltung und damit für eine maximale Störunterdrückung ist es vorteilhaft, wenn die Empfangseinrichtung und das nachbildende elektrische Element  
15 jeweils an dieselbe Versorgungsspannung angeschlossen sind. Vorzugsweise wird an die Versorgungsspannung ein Tiefpass angeschlossen, der hochfrequente Störungen aus der Versorgungsspannung herausfiltert.

- 20 Bei den Empfangseinrichtungen handelt es sich vorzugsweise um Fotodioden.

Die Empfängerschaltung ist vorzugsweise in einem TO-46-Gehäuse oder in einem entsprechenden Kunststoffgehäuse  
25 (z.B. TSSOP10 oder VQFN20) verpackt.

#### Ausführungsbeispiel:

- Zur Erläuterung der Erfindung zeigt eine Figur ein  
30 Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße optische Empfängerschaltung.

- In der Figur erkennt man eine Fotodiode 10 als Empfangseinrichtung („Nutz“-Empfangseinrichtung), die über  
35 einen Transimpedanzverstärker 20 an einen Anschluss E30a eines Differenzverstärkers 30 angeschlossen ist. Der andere Eingang E30b des Differenzverstärkers 30 ist über einen

weiteren als Transimpedanzverstärker ausgeführten Vorverstärker 40 mit einer „Dummy“-Fotodiode 50 als „Dummy“-Empfangseinrichtung verbunden, die das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung 10 im beleuchtungsfreien Fall elektrisch nachbildet.

Der Transimpedanzverstärker 20 ist durch einen Spannungsverstärker 60, beispielsweise einen Operationsverstärker, gebildet, der mit einem Rückkoppelwiderstand  $RF1$  beschaltet ist. In entsprechender Weise ist der weitere Transimpedanzverstärker 40 durch einen Spannungsverstärker, beispielsweise einen mit dem Operationsverstärker 60 identischen Operationsverstärker 70, gebildet, der mit einem weiteren Rückkoppelwiderstand  $RF2$  ( $RF1 = RF2$ ) beschaltet ist.

Der Differenzverstärker 30 ist ausgangsseitig mit einem zweiten Differenzverstärker 80 verbunden, der das Ausgangssignal des ersten Differenzverstärkers 30 weiter verstärkt und an seinem Ausgang ein dem optischen Signal der Fotodiode 10 entsprechendes Ausgangssignal  $S_{res'}$  bzw. das daz invertierte Signal  $-S_{res'}$  erzeugt.

Ausgangsseitig ist der Differenzverstärker 80 mit einer AGC (Amplitude Gain Control) Regelschaltung 90 verbunden, die ausgangsseitig mit den beiden Rückkoppelwiderständen  $RF1$  und  $RF2$  in Verbindung steht. Die Regelschaltung 90 stellt den Widerstandswert  $RF1$  und  $RF2$  in Abhängigkeit von einem an einem Steuereingang  $S90$  der Regelschaltung 90 anliegenden Steuersignal  $S3$  ein. Über diesen Steuereingang  $S90$  kann die Verstärkung der beiden Transimpedanzverstärker 20 und 40 benutzerseitig von außen eingestellt werden. Da die erreichbare Verstärkung  $V$  und die Bandbreite  $B$  der Schaltung näherungsweise miteinander in Beziehung stehen ( $V \cdot B = \text{constant}$ ), kann über ein Verändern der Verstärkung auch die erreichbare Bandbreite benutzerseitig eingestellt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Regelschaltung 90 auch

zusätzliche Kapazitäten (oder Induktivitäten) parallel oder in Reihe zu den beiden Rückkoppelwiderständen RF1 und RF2 schalten, um das Rückkoppelverhalten zu modifizieren und um beispielsweise das Auftreten von elektrischen Schwingungen zu vermeiden. Darüber hinaus ist die Regelschaltung 90 mit den Ausgangssignalen Sres' und -Sres' des zweiten Verstärkers 80 beaufschlagt, so dass die Regelschaltung beispielsweise ein Übersteuern des Verstärkers verhindern kann.

Darüber hinaus ist die optische Empfängerschaltung mit einer DCC-Schaltung 100 (DCC: Duty Cycle Control) ausgestattet, die eine Regelung der optischen Empfängerschaltung bewirkt. Die DCC-Schaltung 100 bzw. die durch sie gebildete Duty-Cycle-Regelung (Offset Regelung) regelt die Abtast-Schwelle für die nachfolgenden Differenzverstärker, so dass das Signal beim 50% Wert der Amplitude abgetastet wird und sich damit keine Signalpulsverzerrungen (duty cycle) ergeben. Dies kann durch Einspeisen eines Stromes in jeweils einen der Vorverstärker (Transimpedanzverstärker) erfolgen oder auch durch Einspeise einer Spannung an den Eingängen der Differenzverstärker direkt.

Wie sich der Figur darüber hinaus entnehmen lässt, sind die beiden Fotodioden 10 und 50 beide jeweils an eine Versorgungsspannung VCC1 angeschlossen, die mit einem Tiefpass 110 - bestehend aus einer Kapazität  $C_{PD}$  und einem Widerstand  $R_{PD}$  - verbunden ist.

Die optische Empfängerschaltung wird wie folgt betrieben:

Im Falle einer Lichteinstrahlung auf die Fotodiode 10 wird ein elektrisches Signal S1 in den Transimpedanzverstärker 20 eingespeist und von diesem verstärkt. Am Ausgang des Transimpedanzverstärkers 20 wird somit das verstärkte Signal S1' gebildet, das zu dem Eingang E30a des Differenzverstärkers 30 gelangt.



Störsignale  $St1$ , die in die Fotodiode 10 bzw. in die Zuleitungen der Fotodiode 10 eingekoppelt bzw. eingespeist werden, werden von dem Transimpedanzverstärker 20 ebenfalls verstärkt und als verstärkte Störsignale  $St1'$  zum

5 Differenzverstärker 30 übertragen.

Die Dummy-Fotodiode 50 ist - wie dies der senkrechte Balken in der Figur andeutet - derart abgedunkelt, dass kein Licht auf die Dummy-Fotodiode 50 fallen kann. Die Fotodiode 50 ist  
10 somit optisch inaktiv und hat lediglich die Funktion eines „Dummys“.

Trotz allem können in die „Dummy“-Fotodiode 50 Störsignale  $ST2$  eingekoppelt werden, beispielsweise über die Zuleitungen  
15 der Fotodiode 50. Diese Störsignale  $ST2$  werden von dem weiteren Transimpedanzverstärker 40 verstärkt und gelangen als verstärkte Störsignale  $ST2'$  zu dem weiteren Eingang E30b des Differenzverstärkers 30. Am Ausgang des Differenzverstärkers 30 werden somit Ausgangssignale  $S_{res}$  -  
20 und die dazu invertierten Signale  $-S_{res}$  - gebildet gemäß

$$S_{res} = S1 + St1 - (S2 + St2).$$

Da die „Dummy“-Fotodiode 50 abgedunkelt ist und damit kein  
25 eigenes Nutzsignal  $S2$  erzeugen kann, gilt:

$$S2 = 0$$

Darüber hinaus ist anzunehmen, dass Störsignale, die in die  
30 Fotodiode 10 eingekoppelt werden, gleichzeitig auch in die „Dummy“-Fotodiode 50 eingekoppelt werden, so dass folgende Annahme gerechtfertigt ist:

$$St1 = St2.$$

35

Somit ergibt sich am Ausgang des Differenzverstärkers 30 insgesamt ein Ausgangssignal gemäß

$$S_{res} = S_1,$$

weil nämlich  $S_1=S_2$  und  $S_2=0$ .

5

Zusammengefasst lässt sich damit feststellen, dass durch die Verwendung zweier gleichartiger Eingangszweige - gebildet durch die Fotodiode 10 und durch die „Dummy“-Fotodiode 50 - die Empfängerschaltung sehr störunanfällig ist, da die  
 10 eingangsseitig von den beiden Fotodioden 10 und 50 „mitgelieferten“ Störsignale  $S_1$  und  $S_2$  aufgrund der Gleichtaktunterdrückung des Differenzverstärkers 30 weitgehend eliminiert werden.

15 Der Tiefpass 110 an der Stromversorgungsspannung  $V_{CC1}$  dient im Übrigen dazu, hochfrequente Störungen der Spannungsversorgung  $V_{CC1}$  herauszufiltern, so dass diese den Differenzverstärker 30 gar nicht erst erreichen können.

20 In der Figur sind darüber hinaus Anschluss pads 200 und 210 erkennbar, die mittels eines Bonddrahtes 220 miteinander verbunden werden können. Durch einen solchen Bonddraht 220 lässt sich die Kapazität  $C_{SYM}$  an den weiteren Transimpedanzverstärker 40 anschließen. Die Kapazität  $C_{SYM}$  kann dabei die  
 25 „Dummy“-Fotodiode 50 ersetzen, wenn eine solche Fotodiode 50 nicht zur Verfügung steht. Die Kapazität  $C_{SYM}$  ist dann vorzugsweise derart bemessen, dass sie im Wesentlichen der Kapazität der „fehlenden“ Dummy-Fotodiode 50 bzw. der Kapazität der Nutzdioden 10 entspricht.

30

## Bezugszeichenliste

	10	Fotodiode
5	20	Transimpedanzverstärker
	30	Differenzverstärker
	40	Weitere Transimpedanzverstärker
	50	„Dummy“-Fotodiode
	60	Operationsverstärker
10	70	Operationsverstärker
	80	Zweiter Differenzverstärker
	90	AGC-Schaltung
	100	DCC-Schaltung
	110	Tiefpass
15	200, 210	Pad-Anschlüsse
	220	Bonddraht
	RF1, RF2	Steuerbare Rückkoppelwiderstände

20

25

## Patentansprüche

## 1. Optische Empfängerschaltung

- mit einem Differenzverstärker (30),
- 5 - mit einer optischen Empfangseinrichtung (10), die an einen der zwei Eingänge (E30a) des Differenzverstärkers (30) angeschlossen ist, und
- mit einem das elektrische Verhalten der
- 10 Empfangseinrichtung (10) im beleuchtungsfreien Fall nachbildenden elektrischen Element (50), das an den anderen der beiden Eingänge (E30b) des Differenzverstärkers (30) angeschlossen ist.

2. Optische Empfängerschaltung nach Anspruch 1 dadurch  
15 gekennzeichnet, dass die Empfangseinrichtung (10) und das elektrische Element (50) jeweils über einen Vorverstärker (20, 40) an den Differenzverstärker (30) angeschlossen sind.

3. Optische Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden  
20 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Element (50) durch eine weitere, abgedunkelte Empfangseinrichtung gebildet ist.

4. Optische Empfängerschaltung nach Anspruch 3, dadurch  
25 gekennzeichnet, dass die Empfangseinrichtung (10) und die weitere Empfangseinrichtung (50) auf einem Chip monolithisch integriert sind.

5. Optische Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden  
30 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Vorverstärker (20, 40) identisch sind.

6. Optische Empfängerschaltung nach Anspruch 5, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Vorverstärker (20, 40)  
35 Transimpedanzverstärker sind.

7. Optische Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine integrierte Regelschaltung (90) vorhanden ist, mit der die Größe des Rückkoppelwiderstandes der Transimpedanzverstärker (20, 40) benutzerseitig einstellbar ist.

8. Optische Empfängerschaltung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die integrierte Regelschaltung symmetrisch an die Rückkoppelwiderstände der beiden Transimpedanzverstärker (20, 40) angeschlossen ist.

9. Optische Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Empfangseinrichtungen (10, 50) an eine gemeinsame Versorgungsspannung (VCC1) angeschlossen sind.

10. Optische Empfängerschaltung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass an die Versorgungsspannung (VCC1) ein Tiefpass angeschlossen ist.

11. Optische Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Empfangseinrichtungen (10, 50) Fotodioden sind.

12. Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfängerschaltung in einem TO-46-Gehäuse, einem TSSOP10-Gehäuse oder einem VQFN20-Gehäuse verpackt ist.

13. Empfängerschaltung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Steueranschluss (S30) durch ein Anschlusspin des Gehäuses gebildet ist.

## Zusammenfassung

### Optische Empfängerschaltung

- 5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine optische Empfängerschaltung anzugeben, die gegenüber externen Störsignalen störunempfindlich ist.

- Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine optische  
10 Empfängerschaltung mit einem Differenzverstärker (30), mit einer optischen Empfangseinrichtung (10), die an einen der zwei Eingänge (E30a) des Differenzverstärkers (30) angeschlossen ist, und mit einem das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung (10) im beleuchtungsfreien Fall  
15 nachbildenden elektrischen Element (50), das an den anderen der beiden Eingänge (E30b) des Differenzverstärkers (30) angeschlossen ist.

- 20 Figur